

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-022730

(43)Date of publication of application : 26.01.1999

(51)Int.Cl.

F16C 32/04

(21)Application number : 09-179625

(71)Applicant : KOYO SEIKO CO LTD

(22)Date of filing : 04.07.1997

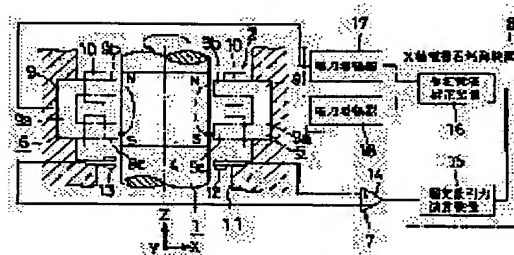
(72)Inventor : MIYAGAWA HIROTOYO  
TANIGUCHI MANABU

## (54) MAGNETIC BEARING AND MAGNETIC BEARING UNIT

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic bearing to save a power.

SOLUTION: A magnetic bearing 2 comprises a pair of electromagnets 5 and 6 arranged in a manner to nip a target 4 of a rotor 1 therebetween from both side in the direction of a horizontal control axis (an X-axis); a displacement detecting device 7 to detect displacement in the direction of the control axis of the rotor 1; and an electromagnet control device 8 to feed an excitation current, consisting of a constant steady current and a control current changed due to displacement of the rotor 1, to the electromagnets 5 and 6 to support the rotor 1 in a neutral position. The electromagnet control device 8 controls both the steady currents of a pair of the electromagnets 5 and 6 to 0, and the component in the control axial direction of gravity exerted on the rotor 1 is balanced with a magnetic suction force by the steady currents of a pair of the electromagnets 5 and 6.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

16.05.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-22730

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月26日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

F 1 6 C 32/04

識別記号

F I

F 1 6 C 32/04

Z

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平9-179625

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月4日

(71) 出願人 000001247

光洋精工株式会社

大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号

(72) 発明者 宮川 裕豊

大阪市中央区南船場三丁目5番8号 光洋精工株式会社内

(72) 発明者 谷口 学

大阪市中央区南船場三丁目5番8号 光洋精工株式会社内

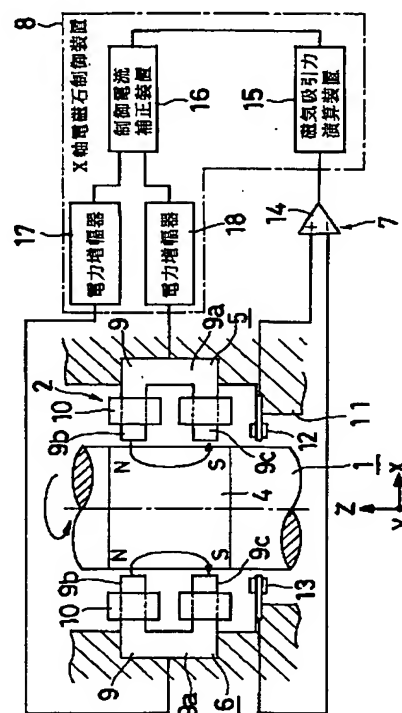
(74) 代理人 弁理士 岸本 瑛之助 (外3名)

(54) 【発明の名称】 磁気軸受および磁気軸受ユニット

(57) 【要約】

【課題】 省電力化が可能な磁気軸受を提供する。

【解決手段】 磁気軸受2は、水平な制御軸(X軸)方向の両側から回転体1のターゲット4を挟むように配置された1対の電磁石5、6と、回転体1の制御軸方向の変位を検出する変位検出装置7と、回転体1を中立位置に支持するために各電磁石5、6に一定の定常電流と回転体1の変位によって変化する制御電流とからなる励磁電流を供給する電磁石制御装置8とを備えている。電磁石制御装置8が、1対の電磁石5、6の両方の定常電流をともに0として、回転体1に作用する重力の制御軸方向の成分と1対の電磁石5、6の定常電流による磁気吸引力が釣り合うようにする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 回転体を 1 つの制御軸方向に非接触支持するための磁気軸受であって、回転体を磁気吸引力によって前記制御軸方向の所定の中立位置に非接触支持するために前記制御軸方向の両側から前記回転体の被支持部分を挟むように配置された 1 対の電磁石と、前記回転体の前記中立位置からの前記制御軸方向の変位を検出する変位検出手段と、前記回転体を前記中立位置に支持するために前記各電磁石に一定の定常電流と前記回転体の前記制御軸方向の変位によって変化する制御電流とからなる励磁電流を供給する電磁石制御手段とを備えている磁気軸受において、

前記電磁石制御手段が、前記 1 対の電磁石の両方の定常電流をともに 0 とするか、あるいは一方にのみ一定の定常電流を供給して、前記回転体に作用する重力の前記制御軸方向の成分と前記 1 対の電磁石の定常電流による磁気吸引力が釣り合うようにするものであることを特徴とする磁気軸受。

【請求項 2】 前記制御軸が水平な制御軸であり、前記電磁石制御手段が、前記 1 対の電磁石の両方の電磁石の定常電流をともに 0 とするものであることを特徴とする請求項 1 の磁気軸受。

【請求項 3】 前記制御軸が水平でない制御軸であり、前記電磁石制御手段が、前記 1 対の電磁石のうち上側にあるものにのみ一定の定常電流を供給するものであることを特徴とする請求項 1 の磁気軸受。

【請求項 4】 前記電磁石制御手段が、前記回転体の前記制御軸方向の変位に対応する前記 1 対の電磁石による磁気吸引力値を求めて磁気吸引力信号として出力する磁気吸引力演算手段と、この磁気吸引力信号に対応する前記各電磁石の制御電流値を求めて制御電流信号として前記各電磁石に出力する制御電流補正手段とを備えていることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 項の磁気軸受。

【請求項 5】 回転体をその回転軸心と直交するとともに互いに直交する 2 つの制御軸方向に非接触支持するための磁気軸受ユニットであって、前記回転体を第 1 の制御軸方向に非接触支持するための第 1 の磁気軸受と、前記回転体を第 2 の制御軸方向に非接触支持するための第 2 の磁気軸受とを備え、前記各磁気軸受が、前記回転体を磁気吸引力によって前記各制御軸方向の所定の中立位置に非接触支持するために前記各制御軸方向の両側から前記回転体の被支持部分を挟むように配置された 1 対の電磁石と、前記回転体の前記中立位置からの前記各制御軸方向の変位を検出する変位検出手段と、前記回転体を前記中立位置に支持するために前記各電磁石に一定の定常電流と前記回転体の前記制御軸方向の変位によって変化する制御電流とからなる励磁電流を供給する電磁石制御手段とをそれぞれ備えている磁気軸受ユニットにおいて、

前記各磁気軸受の前記電磁石制御手段が、前記 1 対の電磁石の両方の定常電流をともに 0 とするか、あるいは一方にのみ一定の定常電流を供給して、前記回転体に作用する重力の前記各制御軸方向の成分と前記 1 対の電磁石の定常電流による磁気吸引力が釣り合うようにするものであることを特徴とする磁気軸受ユニット。

【請求項 6】 前記回転体の回転軸心が鉛直状をなし、前記各磁気軸受の前記電磁石制御手段が、前記 1 対の電磁石の両方の定常電流をともに 0 とするものであることを特徴とする請求項 5 の磁気軸受ユニット。

【請求項 7】 前記各磁気軸受の各電磁石が、前記回転体の回転軸心方向にのびる連結部の両端部に前記制御軸方向の内側に突出した磁極部が形成されたコアを備え、前記全電磁石のコアの一方の同一端部の磁極部が同一の極性を有し、他方の同一端部の磁極部が上記と逆の同一の極性を有することを特徴とする請求項 5 または 6 の磁気軸受ユニット。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、たとえばフライホイール式電力貯蔵装置などに使用される磁気軸受ユニットおよび磁気軸受ユニットを構成する磁気軸受に関する。

【0002】

【従来の技術】 磁気軸受を使用したフライホイール式電力貯蔵装置として、鉛直状の回転体を 1 組のアキシャル磁気軸受ユニットと 2 組のラジアル磁気軸受ユニットで非接触支持するものが知られている。また、電力貯蔵装置には、電力貯蔵時には電動機として電力取出し時には発電機として機能する発電兼用電動機が設けられており、電力貯蔵時には、回転体は、上記の磁気軸受ユニットで非接触支持された状態で、電動機により高速回転させられる。

【0003】 アキシャル磁気軸受ユニットは、回転体の軸方向の 1 箇所を鉛直なアキシャル制御軸（軸方向の制御軸）方向の中立位置に非接触支持するものである。ラジアル磁気軸受ユニットは、回転体の軸方向の 2 箇所において、それぞれ、アキシャル制御軸と直交するとともに互いに直交する 2 つの水平なラジアル制御軸（径方向の制御軸）方向の中立位置に回転体を非接触支持するものである。

【0004】 この明細書において、アキシャル制御軸を Z 軸、ラジアル制御軸の一方を X 軸、他方を Y 軸ということにする。

【0005】 アキシャル磁気軸受ユニットは、回転体を鉛直な Z 軸方向に非接触支持する 1 組のアキシャル磁気軸受（Z 軸磁気軸受）から構成されている。アキシャル磁気軸受は、回転体の被支持部分であるフランジ部を Z 軸方向の両側から挟むように配置された上下 1 対の電磁石（Z 軸電磁石）と、回転体の中立位置からの Z 軸方向

の変位（以下単に「Z軸変位」という）を検出する変位検出装置（Z軸変位検出装置）と、回転体のZ軸変位に基づいて各電磁石に励磁電流を供給する電磁石制御装置（Z軸電磁石制御装置）とを備えている。各電磁石に供給される励磁電流は、定常電流と制御電流を合わせたものである。1対の電磁石の定常電流は互いに等しく、かつ回転体のZ軸変位にかかわらず一定である。制御電流は回転体のZ軸変位に応じて変化し、1対の電磁石について、常に、制御電流の絶対値は互いに等しく、符号は反対である。すなわち、一方の電磁石の制御電流が正の値であるときは、他方の電磁石の制御電流はそれと絶対値の等しい負の値である。回転体は鉛直に配置されているため、その重量はアキシャル磁気軸受によって支持される。このため、上側（Z軸正（+）側）の第1 Z軸電磁石による上向きの磁気吸引力が、下側（Z軸負（-）側）の第2 Z軸電磁石のそれより回転体の重量分だけ大きくなっている。つまり、常に、第1 Z軸電磁石の制御電流は正の値で、第2 Z軸電磁石の制御電流は負の値になっている。

【0006】各ラジアル磁気軸受ユニットは、回転体を水平なX軸方向に非接触支持する1組のラジアル磁気軸受（X軸磁気軸受）と、回転体を水平なY軸方向に非接触支持する1組のラジアル磁気軸受（Y軸磁気軸受）とから構成されている。

【0007】X軸磁気軸受は、回転体の外周に設けられた被支持部分であるターゲットをX軸方向の両側から挟むように配置された1対の電磁石（X軸電磁石）と、回転体の中立位置からのX軸方向の変位（以下単に「X軸変位」という）を検出する変位検出装置（X軸変位検出装置）と、回転体のX軸変位に基づいて各電磁石に励磁電流を供給する電磁石制御装置（X軸電磁石制御装置）とを備えている。各電磁石に供給される励磁電流は、Z軸磁気軸受の場合と同様、定常電流と制御電流を合わせたものである。回転体は鉛直に配置されているため、回転体には、水平なX軸方向には1対のX軸電磁石による磁気吸引力しか作用しない。このため、回転体がX軸方向の中立位置にあるときは、各電磁石の制御電流は0であり、回転体が中立位置よりX軸負側に変位すると、X軸正側の第1 X軸電磁石の制御電流は正の値で、X軸負側の第2 X軸電磁石の制御電流はそれと絶対値の等しい負の値となり、回転体が中立位置よりX軸正側に変位すると、X軸負側の第2 X軸電磁石の制御電流は正の値で、X軸正側の第1 X軸電磁石の制御電流はそれと絶対値の等しい負の値となる。

【0008】Y軸磁気軸受は、制御軸がY軸であるという点を除いて、X軸磁気軸受と同じ構成を有し、1対のY軸電磁石と、Y軸変位検出装置と、Y軸電磁石制御装置を備えている。

【0009】各磁気軸受において、電磁石制御装置は、回転体の変位に対応する電磁石の磁気吸引力を求め、こ

れに比例する信号を制御電流信号として電磁石に供給している。また、各磁気軸受において、1対の電磁石にバイアス電流として常に一定の定常電流を供給しているのは、電磁石における制御電流と磁気吸引力との関係を線形化するためである。図9は、X軸磁気軸受における電磁石の制御電流と磁気吸引力との関係を表わすグラフである。

【0010】次に、図9を参照して、X軸磁気軸受における電磁石の制御電流と磁気吸引力との関係について説明する。

【0011】図9において、横軸は第1電磁石の制御電流 $I_1$ を示し、右側が正、左側が負である。第2電磁石の制御電流 $I_2$ は第1電磁石のそれと絶対値が等しくて符号が逆であるから、第2電磁石の制御電流 $I_2$ については、横軸の左側が正、右側が負である。縦軸は電磁石による磁気吸引力 $F$ を示し、上側が正、下側が負である。 $F_1$ は第1電磁石の磁気吸引力、 $F_2$ は第2電磁石の磁気吸引力、 $F_t$ は2つの電磁石の磁気吸引力を合わせた電磁石全体の磁気吸引力を表わしている。磁気吸引力は、X軸の正側向きを正、負側向きを負としている。したがって、第1電磁石の磁気吸引力は正、第2電磁石の磁気吸引力は負となる。各電磁石に供給される定常電流を $I_0$ とすると、第1電磁石については、制御電流 $I_1$ が $(-I_0)$ のときに磁気吸引力 $F_1$ が0であり、制御電流 $I_1$ が増加するにつれて磁気吸引力 $F_1$ は二次関数的に増加する。第2電磁石については、制御電流 $I_2$ が $(-I_0)$ （第1電磁石の制御電流 $I_1$ が $I_0$ ）のときに磁気吸引力 $F_2$ が0であり、制御電流 $I_2$ が増加（第1電磁石の制御電流 $I_1$ が減少）するにつれて磁気吸引力 $F_2$ の絶対値は二次関数的に増加する。制御電流 $I_1$ 、 $I_2$ が0のとき、第1電磁石の磁気吸引力は $F_0$ 、第2電磁石の磁気吸引力は $(-F_0)$ であり、電磁石全体の磁気吸引力は0となる。そして、電磁石全体の磁気吸引力 $F_t$ は、原点(0)を通り第1電磁石の制御電流 $I_1$ の増加に伴って増加する直線となる。すなわち、制御電流 $I_1$ と全体の磁気吸引力 $F_t$ は比例する。

【0012】X軸電磁石制御装置は、回転体のX軸変位に対応する電磁石全体の磁気吸引力 $F$ を求め、この磁気吸引力 $F$ に対応する第1電磁石の制御電流 $I_1$ を求め、 $I_1$ に対応する制御電流信号を第1電磁石に、 $(-I_1)$ に対応する制御電流信号を第2電磁石にそれぞれ出力する。X軸変位に対応する電磁石全体の磁気吸引力 $F$ は、公知のPID制御回路などにより簡単に求めることができる。また、前述のように第1電磁石の制御電流 $I_1$ と電磁石全体の磁気吸引力 $F_t$ とは比例するので、電磁石全体の磁気吸引力 $F$ が求まれば、上記の比例関係から、容易に第1電磁石の制御電流 $I_1$ を求めることができる。

【0013】たとえば、回転体が中立位置からX軸方向の負側に微小変位した場合、変位検出装置により変位が

検出され、回転体を中立位置に戻すように各電磁石に励磁電流が供給される。図9に示すように、第1電磁石には、定常電流 $I_0$ と正の値の制御電流 $I_a$ を合わせた励磁電流 $(I_0 + I_a)$ が供給され、これに対応するX軸正側向きの磁気吸引力 $F1a$ が第1電磁石に発生する。また、第2電磁石には、定常電流 $I_0$ と負の値の制御電流 $(-I_a)$ を合わせた励磁電流 $(I_0 - I_a)$ が供給され、これに対応するX軸負側向きの磁気吸引力 $(-F2a)$ が第2電磁石に発生する。第1電磁石の磁気吸引力 $F1a$ の絶対値は第2電磁石の磁気吸引力 $(-F2a)$ の絶対値より大きく、両者を合わせた電磁石全体の磁気吸引力 $Fa$ は正の値となり、回転体はX軸の正側すなわち変位が小さくなる側に吸引される。

【0014】回転体が中立位置からX軸方向の正側に微小変位した場合は、上記とは逆に、電磁石全体の磁気吸引力は負の値となり、第1電磁石にはこの磁気吸引力に比例する負の値の制御電流が供給され、第2電磁石にはこれと絶対値が等しい正の値の制御電流が供給される。

【0015】このように、従来の磁気軸受では、回転体の変位にかかわらず、1対の電磁石に常に定常電流が供給されているため、電磁石による消費電力が大きく、したがって、磁気軸受、磁気軸受ユニットおよびこれを用いた装置の消費電力が大きいという問題がある。

【0016】上記のようなラジアル磁気軸受の電磁石には、従来、回転体の周方向にのびる連結部の両端に径方向内側に突出した磁極部が形成された略馬蹄形のコアにコイルが巻かれたヘテロポーラ型と呼ばれるものが使用されている。このようなヘテロポーラ型の電磁石の場合、両端の磁極部は互いに逆の極性に励磁されるため、2対の電磁石を備えた磁気軸受ユニット全体で見ると、回転体の回転方向に逆の極性の磁極部が4つずつ並ぶことになる。このため、回転体の周囲の回転方向の磁束の変化が大きく、回転により回転体のターゲットの表面に渦電流が発生し、それによる回転損失が大きい。したがって、その分、電動機の消費電力が大きくなり、やはり、磁気軸受あるいは磁気軸受ユニットを用いた装置の消費電力が大きいという問題がある。

【0017】回転体を磁気軸受で非接触支持する装置には、回転体が水平に配置されるものや斜めに配置されるものもあるが、そのような場合にも、上記と同様の問題がある。

【0018】この発明の目的は、上記の問題を解決し、省電力化が可能な磁気軸受および磁気軸受ユニットを提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段および発明の効果】請求項1の磁気軸受は、回転体を1つの制御軸方向に非接触支持するための磁気軸受であって、回転体を磁気吸引力によって前記制御軸方向の所定の中立位置に非接触支持するために前記制御軸方向の両側から前記回転体の被支持

部分を挟むように配置された1対の電磁石と、前記回転体の前記中立位置からの前記制御軸方向の変位を検出する変位検出手段と、前記回転体を前記中立位置に支持するために前記各電磁石に一定の定常電流と前記回転体の前記制御軸方向の変位によって変化する制御電流とからなる励磁電流を供給する電磁石制御手段とを備えている磁気軸受において、前記電磁石制御手段が、前記1対の電磁石の両方の定常電流をともに0とするか、あるいは一方にのみ一定の定常電流を供給して、前記回転体に作用する重力の前記制御軸方向の成分と前記1対の電磁石の定常電流による磁気吸引力が釣り合うようにするものであることを特徴とするものである。

【0020】制御軸が水平である場合、電磁石制御手段は、1対の電磁石の両方の定常電流をともに0として、1対の電磁石の定常電流による磁気吸引力を0とする。つまり、磁気軸受は、1対の電磁石に従来は常に供給されていた定常電流を0にしたものである。この場合、制御軸が水平であるから、回転体に作用する重力の制御軸方向の成分は0であり、1対の電磁石の両方の定常電流を0とすることにより、重力の制御軸方向の成分(=0)と1対の電磁石の定常電流による磁気吸引力(=0)とを釣り合わせることができる。そして、回転体の変位が0のときは、いずれの電磁石の励磁電流も0であり、回転体に変位が生じたときも、いずれか一方の電磁石に制御電流のみからなる励磁電流が供給されるだけである。このため、1対の電磁石の励磁電流を合わせた磁気軸受全体の電磁石の消費電流が、従来のものに比べてかなり小さくなる。

【0021】制御軸が水平でない場合、すなわち鉛直であるか傾いている場合、1対の電磁石のうち、上側にある電磁石にのみ回転体に作用する重力の制御軸方向の成分と釣り合う磁気吸引力を発生させるのに必要な最小限の一定の定常電流を供給するとともに、下側にある電磁石の定常電流を0とし、重力の制御軸方向の成分と1対の電磁石の定常電流による磁気吸引力とを釣り合わせる。この場合も、一方の電磁石にのみ必要最小限の定常電流を供給すればよく、1対の電磁石の励磁電流を合わせた磁気軸受全体の電磁石の消費電流が、従来のものに比べてかなり小さくなる。

【0022】このように、請求項1の磁気軸受によれば、1対の電磁石に供給する定常電流を0にするか、あるいは必要最小限にすることができ、磁気軸受全体の電磁石の消費電流を従来のものに比べてかなり小さくすることができる。したがって、磁気軸受、これを用いた磁気軸受ユニット、およびこれを用いたたとえばフライホイール式電力貯蔵装置などの装置の省電力化が可能である。

【0023】請求項2の磁気軸受は、請求項1の磁気軸受において、前記制御軸が水平な制御軸であり、前記電磁石制御手段が、前記1対の電磁石の両方の電磁石の定

常電流をとともに0とするものである。つまり、請求項2の磁気軸受は、回転体を1つの水平制御軸方向に非接触支持するための磁気軸受であって、回転体を磁気吸引力によって前記制御軸方向の所定の中立位置に非接触支持するために前記制御軸方向の両側から前記回転体の被支持部分を挟むように配置された1対の電磁石と、前記回転体の前記中立位置からの前記制御軸方向の変位を検出する変位検出手段と、前記回転体を前記中立位置に支持するために前記各電磁石に一定の定常電流と前記回転体の前記制御軸方向の変位によって変化する制御電流とからなる励磁電流を供給する電磁石制御手段とを備えている磁気軸受において、前記電磁石制御手段が、前記1対の電磁石の両方の定常電流をとともに0として、前記回転体に作用する重力の前記制御軸方向の成分と前記1対の電磁石の定常電流による磁気吸引力が釣り合うようにするものである。さらに言替れば、請求項2の磁気軸受は、1対の電磁石に従来は常に供給されていた定常電流を0にしたものである。

【0024】請求項2の磁気軸受の場合、制御軸が水平であるから、回転体に作用する重力の制御軸方向の成分は0であり、1対の電磁石の両方の定常電流を0とすることにより、重力の制御軸方向の成分(=0)と1対の電磁石の定常電流による磁気吸引力(=0)とを釣り合わせることができる。そして、回転体の変位が0のときは、いずれの電磁石の励磁電流も0であり、回転体に変位が生じたときも、いずれか一方の電磁石に制御電流のみからなる励磁電流が供給されるだけである。このため、1対の電磁石の励磁電流を合わせた磁気軸受全体の電磁石の消費電流が、従来のものに比べてかなり小さくなる。

【0025】請求項3の磁気軸受は、請求項1の磁気軸受において、前記制御軸が水平でない制御軸であり、前記電磁石制御手段が、前記1対の電磁石のうち上側にあるものにのみ一定の定常電流を供給するものである。つまり、請求項3の磁気軸受は、回転体を1つの水平でない制御軸方向に非接触支持するための磁気軸受であって、回転体を磁気吸引力によって前記制御軸方向の所定の中立位置に非接触支持するために前記制御軸方向の両側から前記回転体の被支持部分を挟むように配置された1対の電磁石と、前記回転体の前記中立位置からの前記制御軸方向の変位を検出する変位検出手段と、前記回転体を前記中立位置に支持するために前記各電磁石に一定の定常電流と前記回転体の前記制御軸方向の変位によって変化する制御電流とからなる励磁電流を供給する電磁石制御手段とを備えている磁気軸受において、前記電磁石制御手段が、上側にある電磁石にのみ一定の定常電流を供給して、前記回転体に作用する重力の前記制御軸方向の成分と前記1対の電磁石の定常電流による磁気吸引力が釣り合うようにするものである。

【0026】請求項3の磁気軸受の場合も、上側にある

一方の電磁石にのみ必要最小限の定常電流を供給すればよく、1対の電磁石の励磁電流を合わせた磁気軸受全体の電磁石の消費電流が、従来のものに比べてかなり小さくなる。

【0027】請求項4の磁気軸受は、請求項1、2または3の磁気軸受において、前記電磁石制御手段が、前記回転体の前記制御軸方向の変位に対応する前記1対の電磁石による磁気吸引力値を求めて磁気吸引力信号として出力する磁気吸引力演算手段と、この磁気吸引力信号に対応する前記各電磁石の制御電流値を求めて制御電流信号として前記各電磁石に出力する制御電流補正手段とを備えているものである。

【0028】磁気吸引力演算手段は、回転体の制御軸方向の変位に対応する1対の電磁石による磁気吸引力値を求めるものであるから、従来の電磁石制御装置と同じ構成にすることができる。1対の電磁石のうち、少なくとも一方の定常電流は0であるから、制御電流と磁気吸引力との関係は線形ではないが、制御電流補正手段により、磁気吸引力演算手段から出力された磁気吸引力信号に対応する各電磁石の制御電流値を求めて制御電流信号として各電磁石に出力するので、常に、回転体の位置制御のために必要な磁気吸引力に応じた所望の制御電流を電磁石に供給することができる。したがって、従来の電磁石制御装置と同じ磁気吸引力演算手段を用いて、電磁石の制御電流を適正に制御することができる。

【0029】請求項5の磁気軸受ユニットは、回転体とその回転軸心と直交するとともに互いに直交する2つの制御軸方向に非接触支持するための磁気軸受ユニットであって、前記回転体を第1の制御軸方向に非接触支持するための第1の磁気軸受と、前記回転体を第2の制御軸方向に非接触支持するための第2の磁気軸受とを備え、前記各磁気軸受が、前記回転体を磁気吸引力によって前記各制御軸方向の所定の中立位置に非接触支持するために前記各制御軸方向の両側から前記回転体の被支持部分を挟むように配置された1対の電磁石と、前記回転体の前記中立位置からの前記各制御軸方向の変位を検出する変位検出手段と、前記回転体を前記中立位置に支持するために前記各電磁石に一定の定常電流と前記回転体の前記制御軸方向の変位によって変化する制御電流とからなる励磁電流を供給する電磁石制御手段とをそれぞれ備えている磁気軸受ユニットにおいて、前記各磁気軸受の前記電磁石制御手段が、前記1対の電磁石の両方の定常電流をとともに0とするか、あるいは一方にのみ一定の定常電流を供給して、前記回転体に作用する重力の前記各制御軸方向の成分と前記1対の電磁石の定常電流による磁気吸引力が釣り合うようにするものであることを特徴とするものである。

【0030】請求項5の磁気軸受ユニットにおける各磁気軸受は、請求項1の磁気軸受と同じものである。

【0031】したがって、請求項1の磁気軸受の場合と



同様、磁気軸受の制御軸が水平である場合、1対の電磁石の定常電流を0とすることができ、磁気軸受の制御軸が水平でない場合、一方の電磁石にのみ必要最小限の定常電流を供給すればよい。

【0032】両方の磁気軸受の制御軸がともに水平であれば、両方の磁気軸受について、1対の電磁石の定常電流をともに0とすることができる。

【0033】一方の磁気軸受の制御軸が水平で、他方の磁気軸受の制御軸が水平でない場合は、この他方の電磁石の一方の電磁石にのみ必要最小限の定常電流を供給すればよい。

【0034】両方の磁気軸受の制御軸がともに水平でない場合は、両方の磁気軸受の一方の電磁石にのみ必要最小限の定常電流を供給すればよい。

【0035】したがって、請求項5の磁気軸受ユニットによれば、2つの磁気軸受の電磁石に供給する定常電流を0にするか、あるいは必要最小限にすることができ、磁気軸受ユニット全体の電磁石の消費電流を従来のものに比べてかなり小さくすることができる。したがって、磁気軸受ユニット、およびこれを用いたたとえばフライホイール式電力貯蔵装置などの装置の省電力化が可能である。

【0036】請求項6の磁気軸受ユニットは、請求項5の磁気軸受ユニットにおいて、前記回転体の回転軸心が鉛直状をなし、前記各磁気軸受の前記電磁石制御手段が、前記1対の電磁石の両方の定常電流をともに0とするものであることを特徴とするものである。つまり、請求項6の磁気軸受ユニットは、鉛直状の回転体をその回転軸心と直交するとともに互いに直交する2つの水平な制御軸方向に非接触支持するための磁気軸受ユニットであって、前記回転体を第1の制御軸方向に非接触支持するための第1の磁気軸受と、前記回転体を第2の制御軸方向に非接触支持するための第2の磁気軸受とを備え、前記各磁気軸受が、前記回転体を磁気吸引力によって前記各制御軸方向の所定の中立位置に非接触支持するために前記各制御軸方向の両側から前記回転体の被支持部分を挟むように配置された1対の電磁石と、前記回転体の前記中立位置からの前記各制御軸方向の変位を検出する変位検出手段と、前記回転体を前記中立位置に支持するために前記各電磁石に一定の定常電流と前記回転体の前記制御軸方向の変位によって変化する制御電流とからなる励磁電流を供給する電磁石制御手段とをそれぞれ備えている磁気軸受ユニットにおいて、前記各磁気軸受の前記電磁石制御手段が、前記1対の電磁石の両方の定常電流をともに0として、前記回転体に作用する重力の前記各制御軸方向の成分と前記1対の電磁石の定常電流による磁気吸引力が釣り合うようにするものである。さらに言換えれば、請求項6の磁気軸受ユニットは、2つの磁気軸受の1対の電磁石に従来は常に供給されていた定常電流を全て0にしたものである。

【0037】請求項6の磁気軸受ユニットにおける磁気軸受は、請求項2の磁気軸受と同じものである。

【0038】したがって、請求項6の磁気軸受ユニットの場合、請求項2の磁気軸受の場合と同様、各磁気軸受の定常電流を全て0とすることができ、磁気軸受ユニット全体の電磁石の消費電流を非常に小さくすることができる。

【0039】請求項7の磁気軸受ユニットは、請求項5または6の磁気軸受ユニットにおいて、前記各磁気軸受の各電磁石が、前記回転体の回転軸心方向にのびる連結部の両端部に前記制御軸方向の内側に突出した磁極部が形成されたコアを備え、前記全電磁石のコアの一方の同一端部の磁極部が同一の極性を有し、他方の同一端部の磁極部が上記と逆の同一の極性を有するものである。

【0040】この場合、同一極性を有する一方の同一端部の磁極部に面する回転体の周囲の磁束の変化が小さくなり、したがって、回転により回転体の表面に生じる渦電流が小さくなり、回転損失が小さくなる。他方の同一端部の磁極部についても同様であり、磁気軸受ユニット全体の回転損失が小さくなる。したがって、電動機の消費電力が小さくなり、磁気軸受ユニットを用いた装置の消費電力が小さくなる。

【0041】

【発明の実施の形態】以下、図1～図8を参照して、この発明の実施形態について説明する。

【0042】図1～図5は、この発明を鉛直状の回転体を1組のアキシャル磁気軸受ユニットと上下2組のラジアル磁気軸受ユニットで非接触支持する装置（たとえばフライホイール式電力貯蔵装置）に適用した実施形態を示している。この場合、Z軸は鉛直に、X軸およびY軸は水平に配置される。

【0043】図1および図2は、1組のラジアル磁気軸受ユニットの部分を示している。

【0044】ラジアル磁気軸受ユニットは、回転体(1)をX軸方向に非接触支持するためのラジアル磁気軸受(X軸磁気軸受)(2)と、回転体(1)をY軸方向に非接触支持するためのラジアル磁気軸受(Y軸磁気軸受)(3)とを備えている。

【0045】X軸磁気軸受(2)は、回転体(1)を磁気吸引力によってX軸方向の所定の中立位置に非接触支持するためにX軸方向の両側から回転体(1)の外周のターゲット(被支持部分)(4)を挟むように配置された1対の電磁石(X軸電磁石)(5)(6)と、回転体(1)の中立位置からのX軸方向の変位を検出する変位検出手段を構成する変位検出装置(X軸変位検出装置)(7)と、回転体(1)を中立位置に支持するために回転体(1)のX軸方向の変位に基づいて各電磁石(5)(6)に励磁電流を供給する電磁石制御手段を構成する電磁石制御装置(X軸電磁石制御装置)(8)とを備えている。

【0046】1対の電磁石(5)(6)のうち、X軸正側のも

のをX軸第1電磁石(5)、X軸負側のものをX軸第2電磁石(6)ということにする。各電磁石(5)(6)は、回転体(1)の回転軸心方向(Z軸方向)にのびる連結部(9a)の両端部にX軸方向の内側に突出した磁極部(9b)(9c)が一体に形成されたコア(9)と、コア(9)の磁極部(9b)(9c)に巻かれたコイル(10)とを備えている。各電磁石(5)(6)の連結部(9a)がハウジング(11)の内周部に固定され、磁極部(9b)(9c)が回転体(1)のターゲット(4)にX軸方向の外側からわずかな空隙をあけて対向している。各電磁石(5)(6)のコイル(10)は、電磁石制御装置(8)に接続されている。そして、制御装置(8)からコイル(10)に供給される励磁電流により、1対の電磁石(5)(6)の上側の磁極部(9b)が同一の極性に励磁され、下側の磁極部(9c)が上記と逆の同一の極性に励磁される。この例では、上側の磁極部(9b)がN極、下側の磁極部(9c)がS極となる。

【0047】X軸変位検出装置(7)は、回転体(1)をX軸方向の両側から挟むように各電磁石(5)(6)のすぐ下のハウジング(11)の内周部に固定されて回転体(1)との間のX軸方向の空隙の大きさを検出する1対の変位センサ(X軸センサ)(12)(13)と、X軸第1センサ(12)の出力からX軸第2センサ(13)の出力を減算することにより回転体(1)のX軸方向の中立位置からの変位を求める減算器(14)とを備えている。減算器(14)の出力は、制御装置(8)に入力する。

【0048】制御装置(8)は、両方の電磁石(5)(6)の定常電流を0とし、回転体(1)にX軸方向の変位が生じたときに、いずれか一方の電磁石(5)(6)に制御電流のみからなる励磁電流を供給する。したがって、回転体(1)の変位が0のときは、各電磁石(5)(6)の制御電流も0であり、定常電流と制御電流を合わせた各電磁石(5)(6)の励磁電流も0である。この場合、制御軸であるX軸は水平であるから、回転体(1)に作用する重力のX軸方向の成分は0であり、回転体(1)が中立位置にあるとき、両方の電磁石(5)(6)の励磁電流が0で、これらの磁気吸引力が0であっても、回転体(1)に作用するX軸方向の力は0で、釣り合いが保たれる。そして、回転体(1)が中立位置からX軸負側に変位したときは、X軸正側の第1電磁石(5)にのみ変位量に応じた正の値の制御電流が供給され、この電磁石(5)の磁気吸引力により回転体(1)はX軸正方向に吸引される。回転体(1)が中立位置からX軸正側に変位したときは、X軸負側の第2電磁石(6)にのみ変位量に応じた正の値の制御電流が供給され、この電磁石(6)の磁気吸引力により回転体(1)はX軸負方向に吸引される。このように1対の電磁石(5)(6)の制御電流が制御されることにより、回転体(1)がX軸方向の中立位置に保持される。

【0049】制御装置(8)は、磁気吸引力演算手段としての磁気吸引力演算装置(15)、制御電流補正手段としての制御電流補正装置(16)および各電磁石(5)(6)に対応する電力増幅器(17)(18)を備えている。

【0050】図3は、1対の電磁石(5)(6)の制御電流と磁気吸引力との関係を表わすグラフである。図3において、横軸の原点(0)より右側の部分は第1電磁石(5)の制御電流 $I_1$ を示し、右側が正、左側が負である。横軸の原点(0)より左側の部分は第2電磁石(6)の制御電流 $I_2$ を示し、左側が正、右側が負である。縦軸は電磁石(5)(6)による磁気吸引力 $F$ を示し、上側が正、下側が負である。 $F_1$ は第1電磁石(5)の磁気吸引力、 $F_2$ は第2電磁石(6)の磁気吸引力を表わしている。 $A$ は、従来のように線形化された場合の2つの電磁石(5)(6)全体の磁気吸引力(図9の $F_t$ に相当)を表わしている。制御電流 $I_1$ 、 $I_2$ は0あるいは正の値であり、一方が正の値のとき、他方は0である。両方の電磁石(5)(6)の定常電流が0であるから、制御電流 $I_1$ 、 $I_2$ が0のとき、電磁石(5)(6)の励磁電流は0で、磁気吸引力 $F_1$ 、 $F_2$ は0である。第1電磁石(5)の磁気吸引力 $F_1$ は正の値で、制御電流 $I_1$ の増加に伴って二次関数的に増加する。第1電磁石(5)の制御電流 $I_1$ が正の値であるとき、第2電磁石(6)の制御電流 $I_2$ は0で、その磁気吸引力 $F_2$ は0であるから、第1電磁石(5)の磁気吸引力 $F_1$ がそのまま全体の磁気吸引力となる。第2電磁石(6)の磁気吸引力 $F_2$ は負の値で、その絶対値は制御電流 $I_2$ の増加に伴って二次関数的に増加する。第2電磁石(6)の制御電流 $I_2$ が正の値であるとき、第1電磁石(5)の制御電流 $I_1$ は0で、その磁気吸引力 $F_1$ は0であるから、第2電磁石(6)の磁気吸引力 $F_2$ がそのまま全体の磁気吸引力となる。補正装置(16)には、第1電磁石(5)の制御電流 $I_1$ と磁気吸引力 $F_1$ との関係、および第2電磁石(6)の制御電流 $I_2$ と磁気吸引力 $F_2$ との関係が記憶されている。

【0051】次に、図3を参照して、制御装置(8)における電磁石(5)(6)の制御電流の制御について詳細に説明する。

【0052】制御装置(8)の磁気吸引力演算装置(15)は、変位検出装置(7)で検出された回転体(1)の変位に基づき、これに対応する1対の電磁石(5)(6)全体の磁気吸引力値(磁気吸引力0の点からの増減値)を求め、磁気吸引力信号として制御電流補正装置(16)に出力する。この演算装置(15)における処理は、従来の電磁石制御装置におけるものと同様である。制御電流補正装置(16)は、磁気吸引力演算装置(15)からの磁気吸引力信号に基づき、各電磁石(5)(6)に供給する制御電流値を求め、制御電流信号として対応する増幅器(17)(18)に出力する。各増幅器(17)(18)は、制御電流補正装置(16)からの制御電流信号を増幅し、対応する電磁石(5)(6)に制御電流として供給する。

【0053】回転体(1)の変位が0のとき、磁気吸引力演算装置(15)で演算される電磁石(5)(6)による磁気吸引力値は0であり、これに対応する制御電流 $I_1$ 、 $I_2$ はともに0であるから、制御電流補正装置(16)で求められ



る各電磁石(5)(6)の制御電流値はともに0であり、補正装置(16)から増幅器(17)(18)に出力される制御電流信号は0である。このため、増幅器(17)(18)から各電磁石(17)(18)に供給される制御電流すなわち励磁電流は0で、全体の磁気吸引力が0となり、回転体(1)に作用するX軸方向の力が0で、回転体(1)は中立位置に保持される。

【0054】回転体(1)が負側に変位した場合、演算装置(15)で演算される磁気吸引力値は正の値となる。これを $F_a$ とすると、補正手段(16)は、第2電磁石(6)の制御電流値を0として、これを第2の制御電流信号として第2増幅器(18)に出力するとともに、記憶している磁気吸引力 $F_1$ と制御電流 $I_1$ の関係から、 $F_a$ に対応する第1電磁石(5)の制御電流値 $I_a$ を求めて、これを第1の制御電流信号として第1増幅器(17)に出力する。これにより、第1電磁石(5)に磁気吸引力 $F_a$ が発生し、回転体(1)はX軸正方向に吸引される。このとき、従来のように、線形化されたAに基づいて、 $F_a$ に比例する値を制御電流値 $I_a'$ としたのでは、実際の磁気吸引力は $F_a'$ となり、所望の磁気吸引力 $F_a$ は得られない。ところが、上記のように、実際の磁気吸引力 $F_1$ に基づいて制御電流値を求めているので、所望の磁気吸引力 $F_a$ が得られる。

【0055】回転体(1)が正側に変位した場合、演算装置(15)で演算される磁気吸引力値は負の値となる。これを $(-F_b)$ とすると、補正手段(16)は、第1電磁石(5)の制御電流値を0として、これを第1の制御電流信号として第1増幅器(17)に出力するとともに、記憶している磁気吸引力 $F_2$ と制御電流 $I_2$ の関係から、 $(-F_b)$ に対応する第2電磁石(6)の制御電流値 $I_b$ を求めて、これを第2の制御電流信号として第2増幅器(18)に出力する。これにより、第2電磁石(6)に磁気吸引力 $(-F_b)$ が発生し、回転体(1)はX軸負方向に吸引される。

【0056】上記のように電磁石(5)(6)の制御電流が制御されることにより、回転体(1)がX軸方向の中立位置に保持される。

【0057】Y軸磁気軸受(3)は、1対のY軸電磁石(20)(21)と、Y軸変位検出装置(22)と、Y軸電磁石制御装置(23)とを備えている。

【0058】Y軸電磁石(20)(21)はX軸電磁石(5)(6)と同じ構成を有し、同じ部分には同一の符号を付している。1対のY軸電磁石(20)(21)の上側の磁極部(9b)は、X軸電磁石(5)(6)の上側の磁極部(9b)と同じ極性に励磁され、X軸電磁石(5)(6)とY軸電磁石(20)(21)の上側の磁極部(9b)は回転体(1)のターゲット(4)の上部の軸方向の同一位置に対向している。1対のY軸電磁石(20)(21)の下側の磁極部(9c)は、X軸電磁石(5)(6)の下側の磁極部(9c)と同じ極性に励磁され、X軸電磁石(5)(6)とY軸電磁石(20)(21)の下側の磁極部(9c)は回転体(1)のタ

ーゲット(4)の下部の軸方向の同一位置に対向している。

【0059】Y軸変位検出装置(22)は、1対のY軸センサ(24)(25)と、減算器(26)とを備えている。Y軸センサ(24)および減算器(26)は、X軸変位検出装置(7)におけるX軸センサ(12)(13)および減算器(14)と同じものである。

【0060】Y軸電磁石制御装置(23)は、X軸電磁石制御装置(8)と同じ構成を有する。そして、X軸磁気軸受(2)の場合と同様、Y軸変位検出装置(22)で検出された回転体(1)のY軸方向の変位に基づいて、各Y軸電磁石(20)(21)の制御電流が制御されることにより、回転体(1)がY軸方向の中立位置に非接触支持される。

【0061】そして、X軸磁気軸受(2)とY軸磁気軸受(3)により、回転体(1)がX軸方向およびY軸方向の中立位置に保持される。

【0062】図示は省略したが、他の1組のラジアル磁気軸受ユニットも上記のラジアル磁気軸受ユニットと同じ構成を有する。そして、これら2組のラジアル磁気軸受ユニットにより、回転体(1)がX軸方向およびY軸方向に非接触支持される。

【0063】図4は、アキシアル磁気軸受ユニットの部分を示している。

【0064】アキシアル磁気軸受ユニットは、回転体(1)をZ軸方向に非接触支持するためのアキシアル磁気軸受(Z軸軸受)(30)を備えている。

【0065】Z軸磁気軸受(30)は、回転体(1)を磁気吸引力によってZ軸方向の所定の中立位置に非接触支持するためにZ軸方向の両側から回転体(1)のフランジ部(被支持部分)(1a)を挟むようにハウジング(11)の内周部に固定された1対の電磁石(Z軸電磁石)(31)(32)と、回転体(1)の中立位置からのZ軸方向の変位を検出する変位検出手段を構成する変位検出装置(Z軸変位検出装置)(33)と、回転体(1)を中立位置に支持するために回転体(1)のZ軸方向の変位に基づいて各電磁石(31)(32)に励磁電流を供給する電磁石制御手段を構成する電磁石制御装置(Z軸電磁石制御装置)(34)とを備えている。

【0066】1対の電磁石のうち、Z軸正側のものをZ軸第1電磁石(31)、Z軸負側のものをZ軸第2電磁石(32)ということにする。第1電磁石(31)はフランジ部(1a)の上端面に、第2電磁石(32)はフランジ部(1a)の下端面にそれぞれZ軸方向の両側からわずかな空隙をあけて対向している。各電磁石(31)(32)は電磁石制御装置(34)に接続されており、制御装置(34)から供給される励磁電流により、各電磁石(31)(32)が励磁され、フランジ部(1a)をZ軸方向の両側に吸引する。

【0067】Z軸変位検出装置(33)は、回転体(1)の上端面に上から対向するようにハウジング(11)の上部内面に固定されて回転体(1)の上端面との間のZ軸方向の空

隙の大きさを検出する変位センサ（Z軸センサ）(35)と、Z軸センサ(35)の出力を増幅して回転体(1)のZ軸方向の変位を求める増幅器(36)とを備えている。増幅器(36)の出力は、制御装置(34)に入力する。

【0068】回転体(1)は鉛直状に配置されているので、回転体(1)には、Z軸方向に重力が作用する。制御装置(34)は、上側にある第1電磁石(31)にのみ一定の定常電流を常時供給し、この定常電流による第1電磁石(31)の上向きの磁気吸引力と回転体(1)に作用するZ軸方向下向きの重力とを釣合わせている。そして、回転体(1)の変位が0のときは、各電磁石(31)(32)の制御電流は0である。第2電磁石(32)の制御電流が0であるため、その励磁電流も0であり、第2電磁石(32)による磁気吸引力は0である。また、第1電磁石(31)の制御電流が0であるため、その励磁電流は定常電流に等しく、この励磁電流による上向きの磁気吸引力と回転体(1)に作用する磁気吸引力とが釣合っている。回転体(1)が中立位置からZ軸負側に変位したときは、第2電磁石(32)の制御電流は0のままであり、第1電磁石(31)に変位量に応じた正の値の制御電流が供給される。そして、第1電磁石(31)に供給される励磁電流は制御電流の分だけ大きくなり、第1電磁石(31)による上向きの磁気吸引力が大きくなって、回転体(1)は全体として上向きの力を受ける。回転体(1)が中立位置からZ軸正側に変位したときは、第1電磁石(31)に変位量に応じた負の値の制御電流が供給され、これと絶対値が等しい正の値の制御電流が第2電磁石(32)に供給される。そして、第1電磁石(31)に供給される励磁電流は制御電流の分だけ小さくなって、第1電磁石(31)による上向きの磁気吸引力が小さくなり、第2電磁石(32)には制御電流による下向きの磁気吸引力が発生する。このため、電磁石(31)(32)による上向きの吸引力が小さくなり、回転体(1)は全体として下向きの力を受ける。このように1対の電磁石(31)(32)の制御電流が制御されることにより、回転体(1)がZ軸方向の中立位置に保持される。

【0069】制御装置(34)は、磁気吸引力演算手段としての磁気吸引力演算装置(37)、制御電流補正手段としての制御電流補正装置(38)および各電磁石(31)(32)に対応する電力増幅器(39)(40)を備えている。

【0070】図5は、1対の電磁石(31)(32)の制御電流と磁気吸引力との関係を表わすグラフである。図5において、横軸は第1電磁石(31)の制御電流 $I_1$ を示し、右側が正、左側が負である。第2電磁石(32)の制御電流 $I_2$ は正の値であって、第1電磁石(31)の負の値の制御電流 $I_1$ と絶対値が等しいので、横軸の原点(0)より左側の部分は第2電磁石(32)の制御電流 $I_2$ も示し、第2電磁石(32)の制御電流 $I_2$ については、左側が正、右側が負である。縦軸は電磁石(31)(32)による磁気吸引力 $F$ を示し、上側が正、下側が負である。 $F_1$ は第1電磁石(31)の磁気吸引力、 $F_2$ は第2電磁石(32)の磁気吸引力、

$F_t$ は2つの電磁石(31)(32)の磁気吸引力 $F_1$ 、 $F_2$ を合わせた電磁石(31)(32)全体の磁気吸引力を表わしている。第1電磁石(31)に供給される定常電流を $I_0$ とすると、制御電流 $I_1$ が $(-I_0)$ のときに第1電磁石(31)の磁気吸引力 $F_1$ は0である。この磁気吸引力 $F_1$ は、制御電流 $I_1$ の増加に伴って二次関数的に増加し、制御電流 $I_1$ が0のとき $F_0$ である。第1電磁石(31)の制御電流 $I_1$ が正である領域において、第2電磁石(32)の制御電流 $I_2$ は0であり、第2電磁石(32)の磁気吸引力 $F_2$ は0である。したがって、第1電磁石(31)の磁気吸引力 $F_1$ がそのまま全体の磁気吸引力 $F_t$ となる。第1電磁石(31)の制御電流 $I_1$ が0のとき、第2電磁石(32)の制御電流 $I_2$ は0であり、その磁気吸引力 $F_2$ は0である。そして、第1電磁石(31)の制御電流 $I_1$ が負である領域において、制御電流 $I_1$ の減少（制御電流 $I_2$ の増加）に伴って、第2電磁石(32)の磁気吸引力の絶対値は二次関数的に増加する。したがって、全体の磁気吸引力 $F_t$ は、制御電流 $I_1$ が0で磁気吸引力 $F_1$ が $F_0$ の点を通り制御電流 $I_1$ の減少に伴って減少する直線となる。補正装置(38)には、第1電磁石(31)の制御電流 $I_1$ と全体の磁気吸引力 $F_t$ との関係が記憶されている。

【0071】次に、図5を参照して、制御装置(34)における電磁石(31)(32)の制御電流の制御について詳細に説明する。

【0072】制御装置(34)の磁気吸引力演算装置(37)は、変位検出装置(33)で検出された回転体(1)の変位に基づき、これに対応する1対の電磁石(31)(32)全体の磁気吸引力値（磁気吸引力 $F_0$ の点からの増減値）を求め、磁気吸引力信号として制御電流補正装置(38)に出力する。この演算装置(37)における処理も、従来の電磁石制御装置におけるものと同様である。制御電流補正装置(38)は、磁気吸引力演算装置(37)からの磁気吸引力信号に基づき、各電磁石(31)(32)に供給する制御電流値を求め、制御電流信号として対応する増幅器(39)(40)に出力する。各増幅器(39)(40)は、制御電流補正装置(38)からの制御電流信号を増幅し、対応する電磁石(31)(32)に制御電流として供給する。

【0073】回転体(1)の変位が0のとき、演算装置(37)で演算される磁気吸引力値は0であり、これに対応する制御電流 $I_1$ 、 $I_2$ はともに0であるから、補正装置(38)で求められる各電磁石(31)(32)の制御電流値はともに0であり、補正装置(38)から増幅器(39)(40)に出力される制御電流信号は0である。このため、第1増幅器(39)から第1電磁石(31)に供給される励磁電流は定常電流 $I_0$ に等しく、第2増幅器(40)から第2電磁石(32)に供給される励磁電流は0であり、全体の磁気吸引力は $F_0$ となる。そして、この磁気吸引力 $F_0$ が回転体(1)に作用する重力と釣り合い、回転体(1)は中立位置に保持される。

【0074】回転体(1)が負側に変位した場合、演算装

置(37)で演算される磁気吸引力値は正の値となる。これを $a$ とすると、全体の磁気吸引力は $F_a$ となり、補正手段(38)は、第2電磁石(32)の制御電流値を0として、これを第2の制御電流信号として第2増幅器(40)に出力するとともに、記憶している磁気吸引力 $F_t$ と制御電流 $I_1$ との関係から、 $F_a$ に対応する第1電磁石(31)の制御電流値 $I_a$ を求めて、これを第1の制御電流信号として第1増幅器(39)に出力する。これにより、第1電磁石(31)の励磁電流が $(I_o + I_a)$ となって、電磁石(31)による上向きの磁気吸引力 $F_a (=F_o + a)$ が回転体(1)に作用する重力 $(=F_o)$ より大きくなり、回転体(1)は全体として上向きの力を受ける。

【0075】回転体(1)が正側に変位した場合、演算装置(15)で演算される磁気吸引力値は負の値となる。これを $(-b)$ とすると、全体磁気吸引力は $F_b$ となり、補正手段(38)は、記憶している磁気吸引力 $F_t$ と制御電流 $I_1$ との関係から、 $F_b$ に対応する負の制御電流 $(-I_b)$ を求めて、これを第1の制御電流信号として第1増幅器(39)に出力するとともに、これと絶対値の等しい正の制御電流 $I_b$ に対応する制御電流信号を制御電流信号として第2増幅器(40)に出力する。これにより、第1電磁石(31)の励磁電流が $(I_o - I_b)$ 、第2電磁石(32)の励磁電流が $I_b$ となって、電磁石(31)(32)による上向きの磁気吸引力 $F_b (=F_o - b)$ が回転体(1)に作用する重力より小さくなり、回転体(1)は全体として下向きの力を受ける。

【0076】上記のように電磁石(31)(32)の制御電流が制御されることにより、回転体(1)がZ軸方向の中立位置に保持される。

【0077】そして、このアキシャル磁気軸受ユニットと前述の2組のラジアル磁気軸受ユニットにより、回転体(1)がX軸、Y軸およびZ軸方向の中立位置に非接触支持される。図示は省略したが、装置には、回転体(1)を高速回転させるための内蔵型電動機が設けられており、回転体(1)は、上記のようにラジアル磁気軸受ユニットとアキシャル磁気軸受ユニットにより非接触支持された状態で、電動機により高速回転させられる。上記のラジアル磁気軸受ユニットの場合、ターゲット(4)の上部の軸方向の同一位置に対向するX軸電磁石(5)(6)およびY軸電磁石(20)(21)の上側の磁極部(9b)が同じ極性を有し、ターゲット(4)の下部の軸方向の同一位置に対向するX軸電磁石(5)(6)およびY軸電磁石(20)(21)の下側の磁極部(9c)が同じ極性を有するので、上側の磁極部(9b)に面するターゲット(4)の周囲の磁束の変化、および下側の磁極部(9c)に面するターゲット(4)の周囲の磁束の変化がともに小さくなる。このため、回転体(1)の回転によりターゲットの表面に生じる渦電流が小さくなり、回転損失が小さくなる。したがって、ラジアル磁気軸受ユニット全体の回転損失が小さくなって、電動機の消費電力が小さくなり、装置全体の消費電力も小さくな

る。

【0078】図6～図8は、この発明を水平状の回転体を1組のアキシャル磁気軸受ユニットと2組のラジアル磁気軸受ユニットで非接触支持する装置に適用した実施形態を示している。この場合、Z軸は水平に配置され、X軸およびY軸については、一方が水平に配置されて他方が鉛直に配置される場合と、両方が斜めに配置される場合とがある。

【0079】図6および図7は、1組のラジアル磁気軸受ユニットの部分の1例をそれぞれ示している。

【0080】図6はX軸が水平に配置されてY軸が鉛直に配置される場合を示し、図1および図2のものに相当する部分には同一の符号を付している。

【0081】この場合、X軸が水平であるから、回転体(1)に作用する重力のX軸方向の成分は0である。したがって、X軸磁気軸受(2)における電磁石制御装置(50)は、図1の電磁石制御装置(8)と同じ構成を有する。すなわち、制御装置(50)は、両方の電磁石(5)(6)の定常電流を0とし、回転体(1)にX軸負方向の変位が生じたときに、第1電磁石(5)にのみ制御電流のみからなる励磁電流を供給し、回転体(1)にX軸正方向の変位が生じたときに、第2電磁石(6)にのみ制御電流のみからなる励磁電流を供給する。

【0082】Y軸は鉛直であるから、回転体(1)にはY軸方向に重力が作用する。したがって、Y軸磁気軸受(3)における電磁石制御装置(51)は、図4の電磁石制御装置(34)と同じ構成を有する。すなわち、制御装置(51)は、上側にある第1電磁石(20)にのみ一定の定常電流を常時供給して、この定常電流による第1電磁石(20)の上向きの磁気吸引力と回転体(1)に作用するY軸方向下向きの重力とを釣合わせ、回転体(1)にY軸負方向の変位が生じたときに、第1電磁石(20)にのみ正の制御電流を供給し、回転体(1)にY軸正方向の変位が生じたときに、第1電磁石(20)に負の制御電流を供給するとともに、これと絶対値の等しい正の制御電流を第2電磁石(21)に供給する。

【0083】他は、前記実施形態の場合と同様である。

【0084】図7はX軸とY軸の両方が斜めに配置される場合を示し、図6のものに相当する部分には同一の符号を付している。

【0085】この場合、X軸およびY軸がともに斜めになっているので、X軸磁気軸受(2)における電磁石制御装置(52)およびY軸磁気軸受(3)における電磁石制御装置(53)は、図6のY軸電磁石制御装置(51)とほぼ同じ構成を有する。すなわち、X軸電磁石制御装置(52)は、上側にある第1電磁石(5)にのみ一定の定常電流を常時供給して、この定常電流による第1電磁石(5)のX軸方向斜め上向きの磁気吸引力と回転体(1)に作用する重力のX軸方向の斜め下向きの成分とを釣合わせ、回転体(1)にX軸負方向の変位が生じたときに、第1電磁石(5)に

のみ正の制御電流を供給し、回転体(1)にX軸正方向の変位が生じたときに、第1電磁石(5)に負の制御電流を供給するとともに、これと絶対値の等しい正の制御電流を第2電磁石(6)に供給する。Y軸電磁石制御装置(53)についても、同様である。

【0086】他は、前記実施形態の場合と同様である。

【0087】図8はアキシャル磁気軸受ユニットの部分の1例を示しており、図4のものに相当する部分には同一の符号を付している。

【0088】この場合、Z軸が水平であるから、回転体(1)に作用する重力のZ軸方向の成分は0である。したがって、Z軸磁気軸受(30)における電磁石制御装置(54)は、図1の電磁石制御装置(8)と同じ構成を有する。すなわち、制御装置(54)は、両方の電磁石(31)(32)の定常電流を0とし、回転体(1)にZ軸負方向の変位が生じたときに、第1電磁石(31)にのみ制御電流のみからなる励磁電流を供給し、回転体(1)にZ軸正方向の変位が生じたときに、第2電磁石(32)にのみ制御電流のみからなる励磁電流を供給する。

【0089】他は、前記実施形態の場合と同様である。

【0090】回転体が斜めに配置される場合、Z軸磁気軸受は図4のものと同様に構成され、X軸磁気軸受およびY軸磁気軸受は図6あるいは図7のものと同様に構成される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、この発明の1実施形態を示すラジアル磁気軸受ユニットの縦断面部分の構成図である。

【図2】図2は、図1のラジアル磁気軸受ユニットの横断面部分の構成図である。

【図3】図3は、図1のX軸磁気軸受における電磁石の制御電流と磁気吸引力との関係を示すグラフである。

【図4】図4は、この発明の1実施形態を示すアキシア

ル磁気軸受ユニットの縦断面部分の構成図である。

【図5】図5は、図4のZ軸磁気軸受における電磁石の制御電流と磁気吸引力との関係を示すグラフである。

【図6】図6は、この発明の1実施形態を示すラジアル磁気軸受ユニットの横断面部分の構成図である。

【図7】図7は、この発明の1実施形態を示すラジアル磁気軸受ユニットの横断面部分の構成図である。

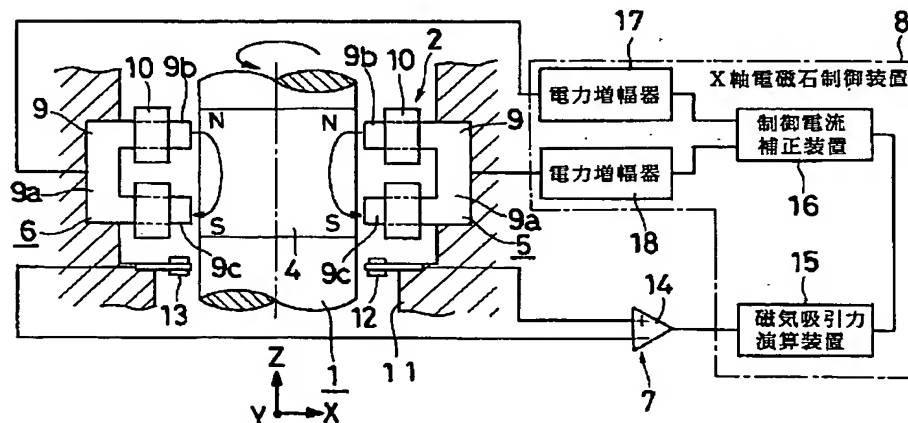
【図8】図8は、この発明の1実施形態を示すアキシャル磁気軸受ユニットの縦断面部分の構成図である。

【図9】図9は、従来の磁気軸受における電磁石の制御電流と磁気吸引力との関係を示すグラフである。

#### 【符号の説明】

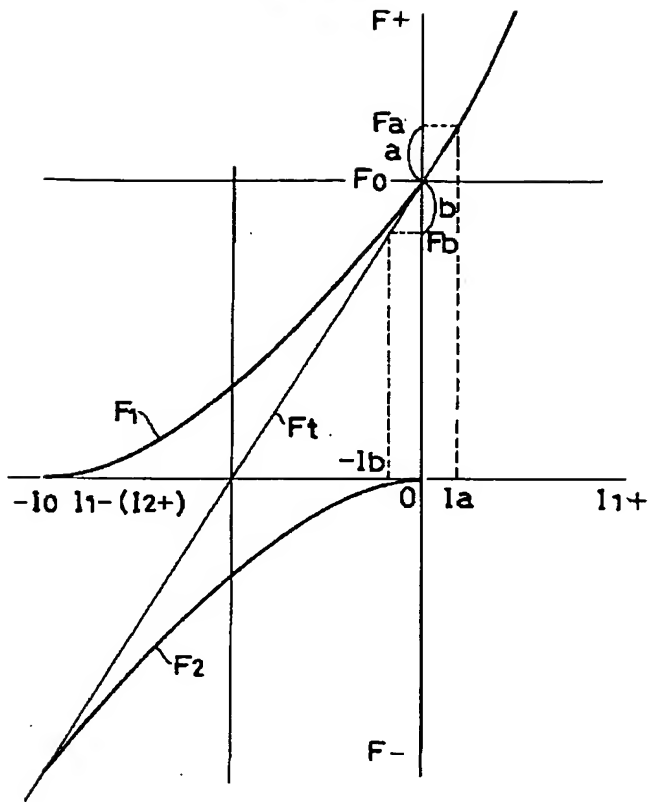
(1)	回転体
(1a)	フランジ部（被支持部分）
(2)	X軸磁気軸受
(3)	Y軸磁気軸受
(4)	ターゲット（被支持部分）
(5)(6)	X軸電磁石
(7)	X軸変位検出装置（手段）
(8)(50)(52)	X軸電磁石制御装置（手段）
(9)	コア
(9a)	連結部
(9b)(9c)	磁極部
(15)(37)	磁気吸引力演算装置（手段）
(16)(38)	制御電流補正装置（手段）
(20)(21)	Y軸電磁石
(22)	Y軸変位検出装置（手段）
(23)(51)(53)	Y軸電磁石制御装置（手段）
(30)	Z軸磁気軸受
(31)(32)	Z軸電磁石
(33)	Z軸変位検出装置（手段）
(34)(54)	Z軸電磁石制御装置（手段）

【図1】

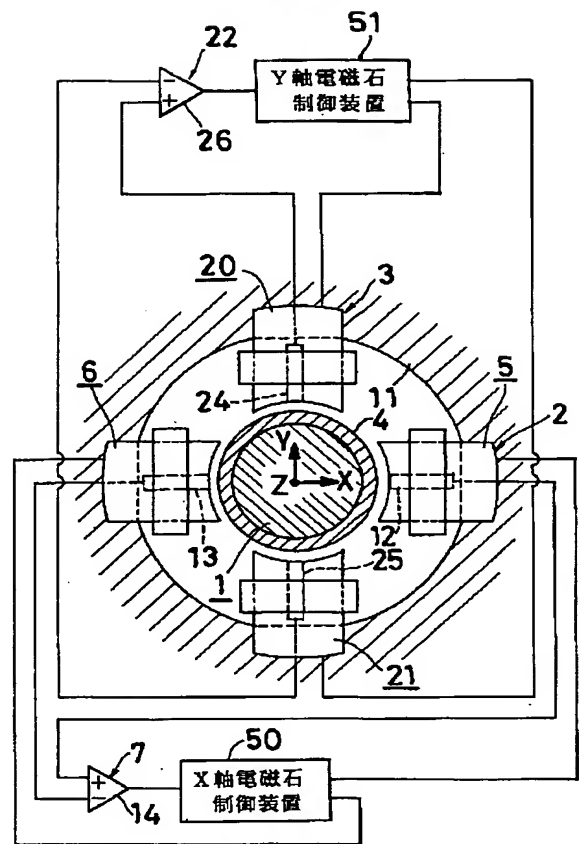




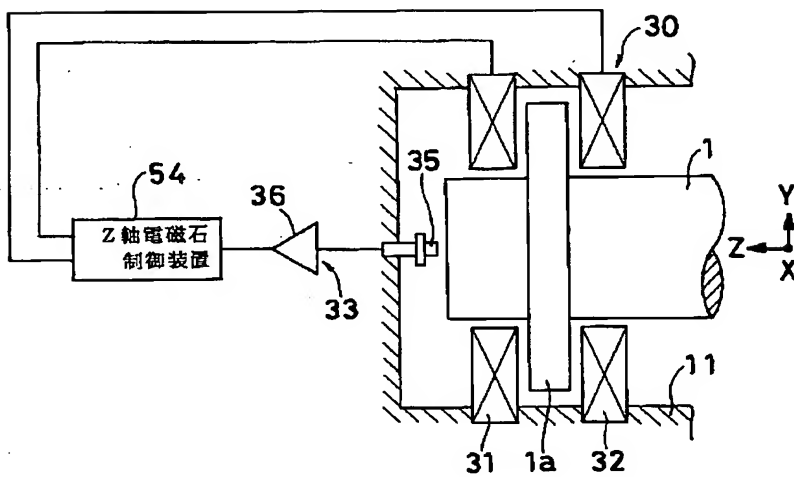
【图5】



【图6】



【图8】





(14)

【図7】

